



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Московский государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Факультет «Информатика и системы управления»
Кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1
«ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ»
по курсу «Основы электроники»

Студент: Платонова Марина Игоревна

Группа: ИУ7-31Б

Студент

_____ Платонова М.И.
подпись, дата

Преподаватель

_____ Оглоблин Д. И.
подпись, дата

Оценка _____

2023 г

Оглавление

Цель практикума.....	3
Параметры диода в соответствии с вариантом.....	3
Исследование ВАХ полупроводниковых диодов на модели лабораторного стенда в программе MICROCAP	4
Вывод данных решения MICROCAP во внешний текстовый файл	7
Приближенный расчет параметров модели полупроводникового диода методом трех ординат	8
Точный расчет параметров модели полупроводникового диода методом GIVEN MINERR	9
Построение ВАХ заданной таблицей и функциональной зависимостью на одном графике.....	11

Цель практикума

Освоение программы Microcap XX для проведения схемотехнического анализа и исследования статических характеристик кремниевого полупроводникового диода с целью определения параметров модели полупроводниковых диодов.

Изучение и применение программы Mathcad для расчета параметров модели полупроводниковых приборов на основе данных экспериментальных исследований.

Параметры диода в соответствии с вариантом

В работе используется вариант диода №* Variant 92

```
* Variant 92
.model D2C447A D(Is=31.47f Rs=9.494 Ikf=0 N=1 Xti=3 Eg=1.11 Cjo=220p M=.5959
+      Vj=.75 Fc=.5 Isr=2.035n Nr=2 Bv=4.7 Ibv=43m
*      Nbv=10 Ibv1=3m Nbv1=180
+      Tbv1=-800u)
... ..
```

Рис. 1. Параметры диода на вкладке Text программы Microcap

Исследование ВАХ полупроводниковых диодов на модели лабораторного стенда в программе MICROCAP

На прямой и обратной ветвях в программе Microcap строим цепи (рис. 2,3).

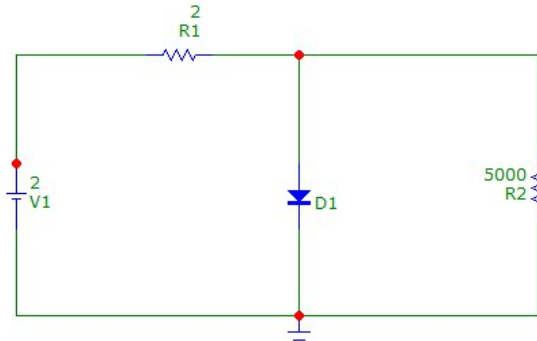


Рис. 2. «Цепь для прямой ветви»

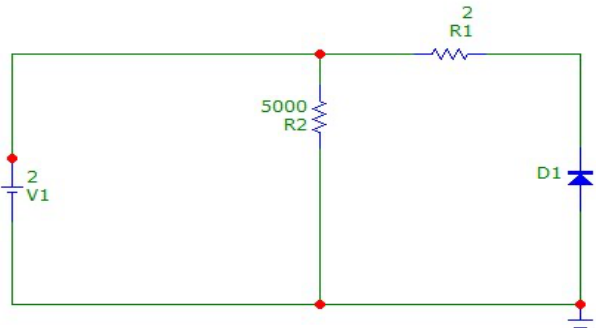


Рис. 3. «Цепь для обратной ветви»

Для корректного считывания данных в программе Mathcad, требуется настроить программы, отключить лишние пункты и перенастроить вид чисел, чтобы они содержали 7 цифр после десятичной точки.

Для этого переходим на вкладку Numeric Output в окне свойств анализа постоянного тока в Настройка формата вывода которой нажатием на соответствующие кнопки «Format» устанавливаем требуемый формат. Также отключаем ненужные элементы вывода программы Microcap, снимая соответствующие флажки в правой части рассматриваемого окна.

Для снятия показаний используем пункт DC Analysis, в появившемся окне устанавливаем нужную формулу.

Для построения графика зависимости тока диода от напряжения на диоде в программе Microcap XX, мы учитываем падение напряжения на миллиамперметре. В данной задаче, сопротивление миллиамперметра установлено на уровне 1 Ом. Истинное напряжение на диоде определяется выражением: $U_d = DCINPUT1 - I(R1)*2$.

DCINPUT1 - значение изменяемого напряжения Variable 1, которое соответствует напряжению источника V1. Ток через миллиамперметр составляет сумму двух компонентов: тока через диод и тока через милливольтметр. Для

построения графика, связывающего ток диода (по оси Y) с напряжением на диоде (по оси X), мы используем выражение $I_d = I(R1) - I(R2)$.

После ввода выражений для напряжения и тока по осям графика, мы запускаем расчет, что приводит к получению результатов анализа статических характеристик диода.

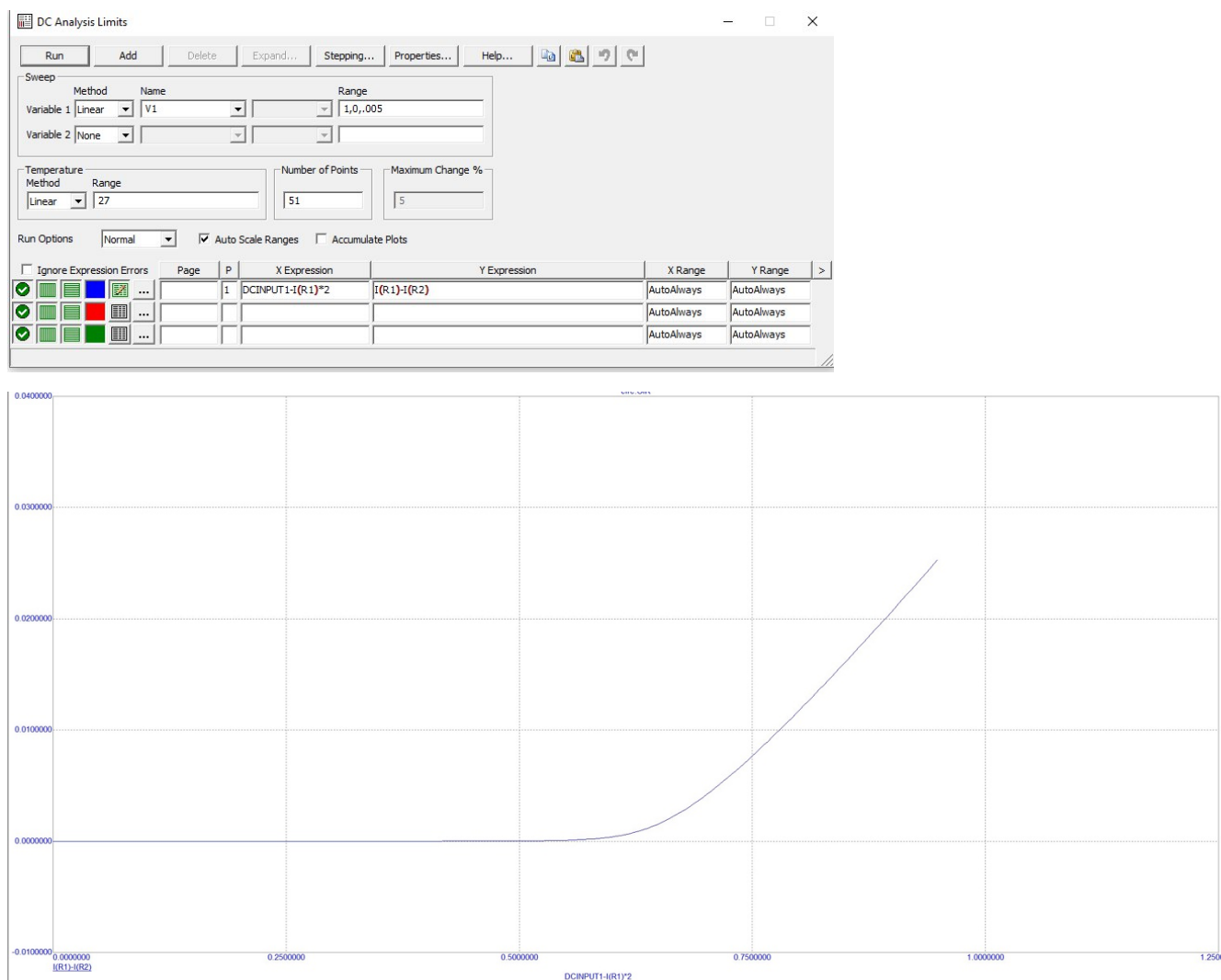


Рис. 4. График для прямой ветви

Амперметр включается последовательно (на схеме – R1)) и имеет малое сопротивление, а вольтметр – большое (включается параллельно, на схеме – R2)), тогда искажения, вносимые приборами, минимальны. При прямом включении диода его сопротивление невелико, а подключенный к нему параллельно вольтметр не создаст больших потерь тока. При обратном включении сопротивление диода сопоставимо с сопротивлением вольтметра, поэтому необходимо измерять ток на самом диоде. Подключенный последовательно

амперметр вносит малое искажение в измерение вольтметром, подключенным параллельно к амперметру и вольтметру.

В схеме определения обратного тока диода запись тока и напряжения на диоде меняются: поскольку ток через вольтметр с внутренним сопротивлением R1 значительно больше обратного тока диода, его надо исключить из измерений. При этом напряжение на амперметре очень мало, поскольку обратный ток диода очень мал.

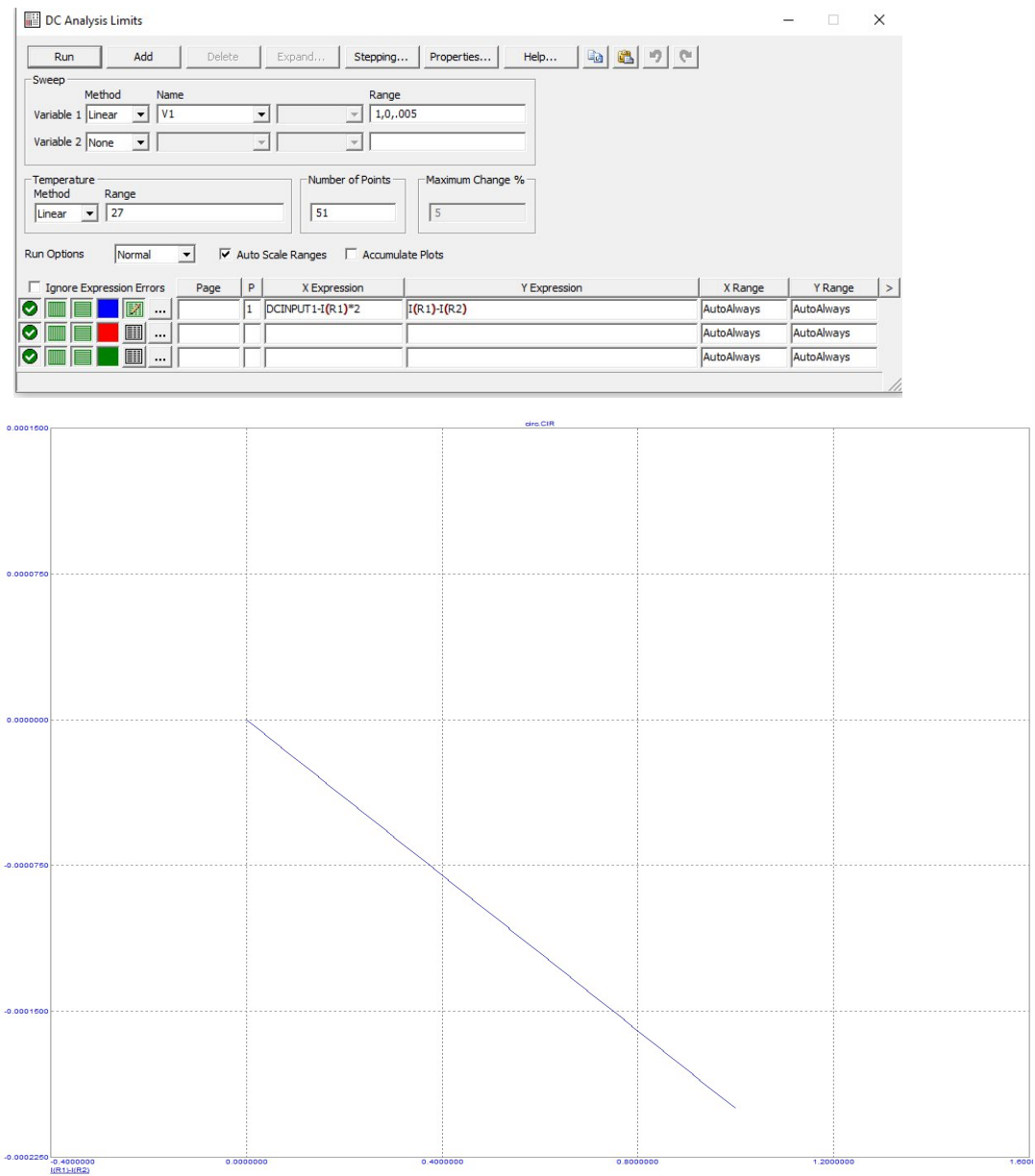


Рис. 5 График для обратной ветви

Вывод данных решения MICROCAP во внешний текстовый файл

Выводим измерения прямого тока, ограничив вывод только численными результатами и настроив формат на десятичный для улучшения читаемости в программе MCAD. В файле числа записаны в нужном формате, и дополнительная информация отсутствует, что делает его готовым к передаче в программу Mathcad.

VAX =		0	1
	0	0	0
	1	0.02	0
	2	0.04	0
	3	0.06	0
	4	0.08	0
	5	0.1	0
	6	0.12	0
	7	0.14	0
	8	0.16	0
	9	0.18	$1 \cdot 10^{-7}$
	10	0.2	$1 \cdot 10^{-7}$
	11	0.22	$1 \cdot 10^{-7}$
	12	0.24	$2 \cdot 10^{-7}$
	13	0.26	$2 \cdot 10^{-7}$
	14	0.28	$3 \cdot 10^{-7}$
	15	0.3	...

VAX ⁽¹⁾ =		0
	0	0
	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
	5	0
	6	0
	7	0
	8	0
	9	$1 \cdot 10^{-7}$
	10	$1 \cdot 10^{-7}$
	11	$1 \cdot 10^{-7}$
	12	$2 \cdot 10^{-7}$
	13	$2 \cdot 10^{-7}$
	14	$3 \cdot 10^{-7}$
	15	...

VAX ⁽⁰⁾ =		0
	0	0
	1	0.02
	2	0.04
	3	0.06
	4	0.08
	5	0.1
	6	0.12
	7	0.14
	8	0.16
	9	0.18
	10	0.2
	11	0.22
	12	0.24
	13	0.26
	14	0.28
	15	...

Рис. 6. Выходной файл

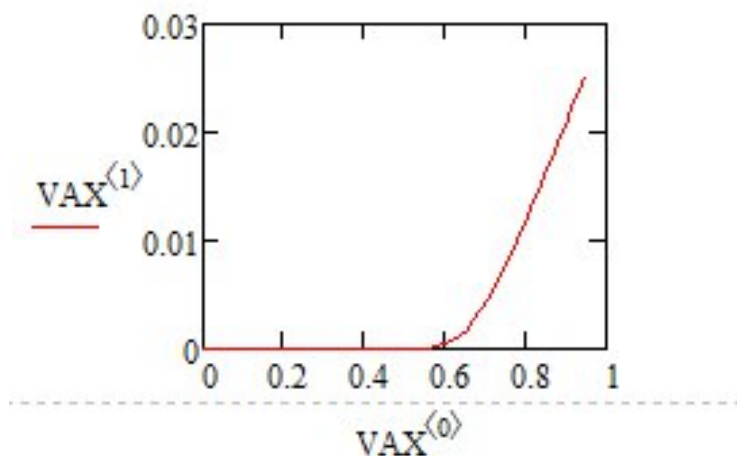


Рис. 7. Полученный график

Приближенный расчет параметров модели полупроводникового диода методом трех ординат

Далее показания, полученные в программе Microsar, импортируются в программу Mathcad. Записываем их в матрицу VAX и строим график на основе этой матрицы. Используя трассировку, выбираем три точки на графике для метода трёх ординат, чтобы вычислить параметры диода.

Для вычисления параметров диода применяем метод трех ординат к выбранным точкам.

- 1) I_o - обратный ток перехода;
- 2) R_b - сопротивление базы;
- 3) N_{Ft} - тепловой потенциал, зависящий от температуры и материала;

$U_{d1} := 0.51971$	$I_{d1} := 4e-005$	$U_{d2} := 0.63741$	$I_{d2} := 0.0011672$	$U_{d3} := 0.84778$	$I_{d3} := 0.015939$	$U_{d4} := 0.91534$	$I_{d4} := 0.022146$
$R_b := \frac{(U_{d1} - 2 \cdot U_{d2} + U_{d3})}{I_{d1}}$		$R_b = 2.317 \times 10^3$					
$N_{Ft} := \frac{[(3 \cdot U_{d2} - 2 \cdot U_{d1}) - U_{d3}]}{\ln(2)}$		$N_{Ft} = 0.036$					
$I_o := I_{d1} \cdot \exp\left[\frac{(U_{d3} - 2 \cdot U_{d2})}{N_{Ft}}\right]$		$I_o = 2.925 \times 10^{-10}$					
$R_b := R_b$		$I_{s0} := I_o$		$m := 2$		$F_t := N_{Ft}$	

Точный расчет параметров модели полупроводникового диода методом GIVEN MINERR

Решение систем линейных и нелинейных уравнений и неравенств возможно с помощью вычислительного блока Given, в который входят функции Find, Minerr, Maximize, Minimize.

Вычисляем те же параметры, используя функцию Minerr() и выбирая для этого 4 точки (4 строки матрицы VAX).

Given

$$Ud1 = Id1 \cdot Rb + \ln \left[\frac{(Is0 + Id1)}{Is0} \right] \cdot m \cdot Ft$$

$$Ud2 = Id2 \cdot Rb + \ln \left[\frac{(Is0 + Id2)}{Is0} \right] \cdot m \cdot Ft$$

$$Ud3 = Id3 \cdot Rb + \ln \left[\frac{(Is0 + Id3)}{Is0} \right] \cdot m \cdot Ft$$

$$Ud4 = Id4 \cdot Rb + \ln \left[\frac{(Is0 + Id4)}{Is0} \right] \cdot m \cdot Ft$$

Diod_P := Minerr(Is0, Rb, m, Ft)

$$Diod_P = \begin{pmatrix} 2.984 \times 10^{-12} \\ 8.79 \\ 1.325 \\ 0.024 \end{pmatrix}$$

Is0 := Diod_P₀ Rb := Diod_P₁ m := Diod_P₂ Ft := Diod_P₃

Idiod := 0, 10⁻⁵ .. 0.023

$$Udiod(Idiod) := Idiod \cdot Rb + NFt \cdot \ln \left[\frac{(Idiod + Is0)}{Is0} \right]$$

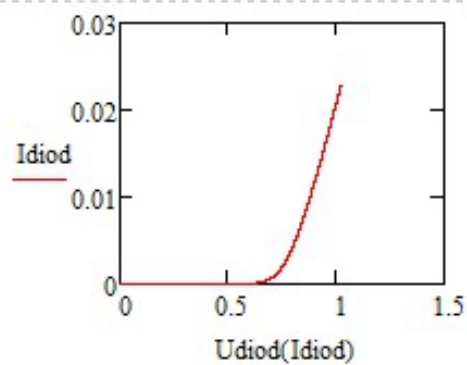


Рис.8. «График ВАХ диода»

Для построения графика на основе вычисленных параметров, полученных с помощью функции `Minerr()`, мы вводим функцию `Udiod(Idiod)`, которая связывает ток диода и напряжение. График этой функции и его пояснение представлены на рисунке 8. Ниже представлен способ реализации.

Построение ВАХ заданной таблицей и функциональной зависимостью на одном графике

Для сравнения результатов моделирования и эксперимента построим оба графика в одной координатной плоскости: экспериментальную ВАХ и теоретическую ВАХ, используя модель диода с учетом объёмного сопротивления базы. Параметры R_b , I_{s0} , m и F_t , полученные в предыдущем расчете, были присвоены напрямую, так как они хранятся в векторе. После этого можно построить график, на котором сравниваются две зависимости (рис.8).

Проверить совпадение результатов можно с использованием приема трассировки графика средствами MCAD. Перемещая курсор внутри графика, определяются значения тока и напряжения первого и второго графика.

$$\begin{aligned} (VAX^{(0)})_{45} &= 0.865 \\ I_{proverka} &:= (VAX^{(1)})_{45} \\ (VAX^{(1)})_{45} &= 0.017 \\ U_{diod}(I_{proverka}) &= 0.966 \end{aligned}$$

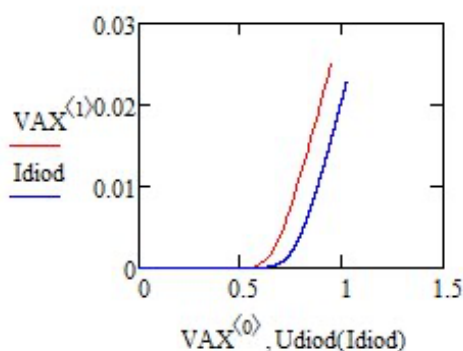


Рис.9. «График ВАХ диода»

По данному графику сделать вывод, что погрешность измерений не превышает допустимую, а значит наша теоретическая модель диода является верной.